

Penjadwalan Perawatan Sistem Penunjang *Diesel Generator* pada *Container Crane* dengan Pemodelan Dinamika Sistem : Studi Kasus di Terminal Multipurpose Nilam Timur Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

Hayi Widarto, Dhimas Widhi Handani

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail : dhimas@ne.its.ac.id

Abstrak ---- Terus bertambahnya arus kedatangan kapal petikemas ke terminal-terminal petikemas Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dari tahun ke tahun menuntut kesiapan dari infrastruktur pendukungnya, termasuk CC (*Container Crane*) yang dalam hal ini berfungsi sebagai alat bongkar muat petikemas. Penelitian ini berusaha menjawab tuntutan tersebut dengan cara membuat jadwal perawatan untuk sistem bahan bakar dan pelumasan *Diesel Generator* CC. Penjadwalan perawatan ini menjadi penting karena akan disesuaikan dengan pola operasi CC agar nantinya kegiatan perawatan sebisamungkin tidak mengganggu operasional CC. Metode dinamika sistem digunakan untuk memodelkan perilaku sistem sehingga nanti penjadwalan yang tepat dapat dicari melalui mekanisme penentuan nilai indeks keandalan minimum dan ketersediaan. Selain itu biaya total operasi yang terdiri dari biaya *running*, *maintenance*, dan *downtime* juga akan menjadi pertimbangan dalam menentukan waktu perawatan. Dari pemodelan, didapatkan hasil penjadwalan perawatan untuk komponen *fuel pump* adalah setiap 4578 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 4296 jam untuk CC 3, komponen *separator* adalah setiap 1453 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 1439 jam untuk CC 3, komponen *PT Pump* adalah setiap 10169 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 7774 jam untuk CC 3, komponen *injector* adalah setiap 4065 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 3887 jam untuk CC 3, komponen *oil pump* adalah setiap 13559 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 19435 jam untuk CC 3. Kemudian untuk komponen *fuel filter*, *oil filter*, dan *bypass oil filter* yang termasuk *non-repairable component* akan dilakukan penggantian setiap 256 jam untuk CC 1, 256 jam untuk CC 2, dan 256 jam untuk CC 3.

Kata Kunci -- Penjadwalan Perawatan, Dinamika Sistem, Keandalan, Ketersediaan, Biaya Total Operasi.

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data realisasi arus kunjungan kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yang diperoleh dari website resmi PT. Pelindo III, sepanjang Januari hingga Juli 2014 tercatat 7889 unit kapal telah membawa barang dan orang melalui Pelabuhan Tanjung Perak dengan berat kapal mencapai 42 juta GT (*Gross Tonnage*). Kapal petikemas masih mendominasi dengan jumlah mencapai 2651 unit disusul kapal tanker sebanyak 954 unit.

Berdasarkan data tersebut, dominasi dari kapal petikemas akan berakibat pada meningkatnya kegiatan bongkar muat petikemas di terminal-terminal yang ada di lingkungan Pelabuhan Tanjung Perak, termasuk Terminal Multipurpose Nilam Timur. Meningkatnya kegiatan bongkar muat petikemas ini menuntut kesiapan dari alat bongkar muat itu sendiri. Tentunya tidak diharapkan terjadi kegagalan pada salah satu CC ketika semua CC sedang dibutuhkan untuk melayani bongkar muat. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka penjadwalan perawatan terhadap CC menjadi sangat penting untuk dilakukan agar CC dapat melayani semua kapal yang akan melakukan kegiatan bongkar muat petikemas di Terminal Multipurpose Nilam Timur.

Dalam Penelitian ini, strategi penjadwalan perawatan yang dilakukan akan mengambil studi kasus komponen sistem penunjang diesel generator yang menjadi penggerak utama CC dan akan dimodelkan dengan menggunakan metode dinamika sistem. Metode dinamika sistem dipilih karena metode ini mampu menformulasikan perilaku dinamis sebuah sistem dari waktu ke waktu dan dalam berbagai skenario kondisi dan asumsi.

Sistem penunjang diesel generator CC, termasuk sistem bahan bakar dan pelumas adalah contoh sistem yang kompleks dan memiliki karakteristik yang selalu berubah atau dinamis dari waktu ke waktu. Hal tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama waktu operasional suatu komponen maka keandalannya akan semakin menurun.

Permasalahan yang terjadi pada mesin diesel seringkali menjadi penyebab berhentinya operasional CC. Jika CC berhenti beroperasi, maka *downtime cost* atau biaya pemasukan yang seharusnya diperoleh jika CC dapat beroperasi normal akan semakin banyak yang hilang. Selain itu, penjadwalan yang belum optimal juga akan mengakibatkan membengkaknya biaya perbaikan. Oleh karena itu, penjadwalan perawatan yang tepat yang akan dikerjakan pada Penelitian ini sangat penting dilakukan untuk meminimalkan total biaya operasi bagi sistem penunjang diesel generator CC.

II. DASAR TEORI

A. Penjadwalan Perawatan

Penjadwalan perawatan atau *maintenance scheduling* adalah prosedur yang dilakukan dalam kegiatan perawatan terhadap suatu aset yang terencana (*planned maintenance*) dan bersifat pencegahan (*preventive maintenance*). Perawatan yang terjadwal ada dua macam, yakni terjadwal sesuai

kalender (*calender based*) dan terjadwal sesuai lama aset beroperasi (*running hours*). Selain perawatan yang bersifat pencegahan, terdapat juga jenis perawatan yang lain, yakni perawatan yang bersifat korektif (*corrective maintenance*). Perawatan korektif adalah perawatan yang tidak direncanakan atau tidak dijadwalkan, sehingga perawatan dilakukan setelah suatu aset mengalami kegagalan fungsional [1]. Biaya yang dikeluarkan untuk kegiatan perawatan akan besar jika perawatan dijadwalkan terlalu sering dan tidak terlalu berpengaruh pada meningkatnya keandalan suatu aset. Jadi, perawatan harus dijadwalkan ketika suatu aset tidak beroperasi.

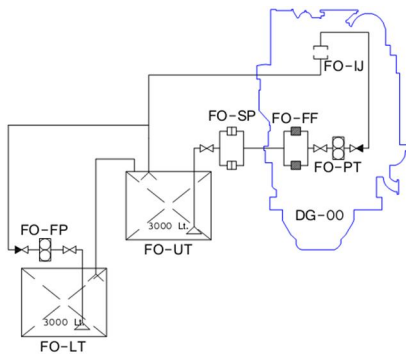
B. Diesel Generator

Untuk dapat beroperasi, tiga buah CC di Terminal Nilam energi listriknya disuplai oleh *diesel generator*. Artinya bahwa semua motor listrik yang menggerakkan komponen bergerak pada CC, energi listriknya disuplai oleh *diesel generator*, yakni *Cummins* seri K50 dengan spesifikasi seperti pada Tabel 2.1. Kemudian Gambar 2.1 dan 2.3 menjelaskan bagaimana sistem bahan bakar dan sistem pelumasan bekerja.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Diesel Generator*

| <i>Cummins K50 Diesel Generator</i> | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Prime Power | 1000 kW/1250 kVA |
| Standby Power | 1100 kW/1375 kVA |
| Frequency | 50 Hz |
| Rated Voltage | 380 Volt |
| Output Type | AC Three Phase |
| rpm | 1500 rpm |
| Fuel | High Speed Diesel Oil |
| No. Of Cylinder | 16 V |
| Bore x Stroke | 159 mm x 159 mm |
| Fuel Consumption (100% Load) | 251.8 Ltr/hr |
| Lubricating Oil System Capacity | 177 Liters |

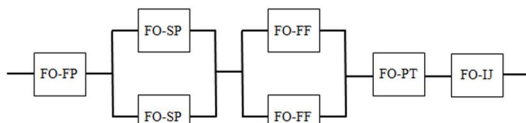
a. Sistem Bahan Bakar



Gambar 2.1 P&ID Sistem Bahan Bakar

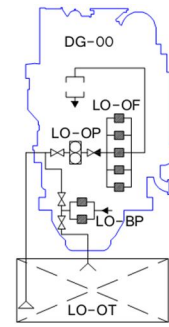
Tabel 2.2 Kode Komponen Sistem Bahan Bakar

| KODE | KOMPONEN |
|---------|---------------------------------|
| DG - 00 | <i>Diesel Generator</i> |
| FO - LT | <i>Fuel Oil Lower Tank</i> |
| FO - UT | <i>Fuel Oil Upper Tank</i> |
| FO - FP | <i>Fuel Pump</i> |
| FO - SP | <i>Separator</i> |
| FO - FF | <i>Fuel Filter</i> |
| FO - PT | <i>PT (Pressure Timed) Pump</i> |
| FO - IJ | <i>Injector</i> |



Gambar 2.2 Diagram Blok Sistem Bahan Bakar

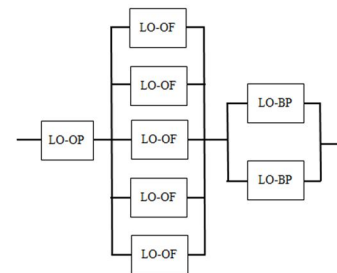
b. Sistem Pelumasan



Gambar 2.3 P&ID Sistem Pelumasan

Tabel 2.3 Kode Komponen Sistem Bahan Bakar

| KODE | KOMPONEN |
|---------|--------------------------|
| DG - 00 | <i>Diesel Generator</i> |
| LO - OT | <i>Oil Pan</i> |
| LO - OP | <i>Oil Pump</i> |
| LO - OF | <i>Oil Filter</i> |
| LO - BP | <i>Bypass Oil Filter</i> |



Gambar 2.4 Diagram Blok Sistem Pelumasan

C. Keandalan dan Distribusi Kegagalan

keandalan didefinisikan sebagai peluang sistem / komponen dapat beroperasi tanpa gagal (sukses) dalam periode waktu tertentu dan kondisi operasi tertentu [2]. Manfaat memahami keandalan adalah dapat memprediksi peluang alat-alat produksi dapat beroperasi dalam kaitannya dengan upaya meningkatkan efisiensi sebuah proses produksi [3].

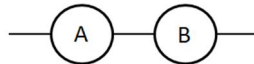
Keandalan suatu aset pada periode waktu tertentu dapat dihitung jika jenis distribusi dari data kegagalan aset sudah diketahui. Hal ini dikarenakan persamaan keandalan dari masing-masing jenis distribusi berbeda. Oleh karena itu, uji distribusi data kegagalan (*time to failure*) menjadi sangat penting dilakukan. Perangkat lunak **Relx 2009** digunakan untuk melakukan pengujian distribusi ini. Pada **Relx**, metode *rank regression* dipilih untuk melakukan pendekatan dalam pengujian distribusi ini. Macam-macam distribusi yang kemungkinan besar menjadi hasil dalam pengujian distribusi kali ini antara lain adalah Distribusi Normal, Eksponensial 1 Parameter, Eksponensial 2 parameter, Weibull 2 Parameter, dan Weibull 3 Parameter.

D. Ketersediaan

Ketersediaan atau *availability* adalah ukuran dari kinerja sistem dan ukuran efek gabungan dari keandalan, pemeliharaan, dan dukungan logistiknya pada efektivitas operasional sistem. Suatu sistem yang gagal tidak menguntungkan bagi penggunaannya bahkan dapat merugikan dari segi biaya [4]. Jadi rata-rata waktu antar kegagalan atau MTTF (*Mean Time To Failure*) dan rata-rata waktu perbaikan atau MTTR (*Mean Time To Repair*) harus diketahui untuk dapat menghitung nilai ketersediaan suatu aset seperti pada

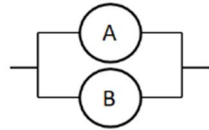
persamaan (1). Kemudian untuk komponen yang tersusun secara seri dan paralel akan dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) [5].

$$Av = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (1)$$



Gambar 2.5 Sistem Seri

$$Av_{(S)} = Av_{(A)} \times Av_{(B)} \times Av_{(n)} \quad (2)$$



Gambar 2.6 Sistem Paralel

$$Av_{(P)} = 1 - [(1 - Av_{(A)}) \times [(1 - Av_{(B)}) \times [(1 - Av_{(n)})]] \quad (3)$$

E. Dinamika Sistem

SD (*System Dynamics*) adalah teori tentang struktur sebuah sistem, sebuah teori yang berhubungan dengan studi tentang interaksi kasual (sebab-akibat) antara komponen yang membentuk struktur dari sebuah sistem yang kompleks. Dinamika Sistem juga merupakan metodologi pemodelan untuk memahami sistem yang kompleks dan menganalisis perilaku dinamisnya [6]. Terdapat empat tahapan untuk memodelkan suatu sistem yang kompleks dengan metode dinamika sistem [7], yakni mendefinisikan masalah, membuat causal diagram, membuat *stock and flow diagram* dan yang terakhir adalah simulasi.

Diagram hubungan sebab akibat adalah peta sederhana pada sistem dengan seluruh komponen penyusun dan interaksinya [8]. *Stock and Flow Diagram* adalah model SD yang umum yang menunjukkan interaksi yang terjadi antara beberapa variabel di sekitar suatu aset beroperasi [9]. *Software Powersim Studio 2008* akan digunakan untuk membuat diagram ini. Pada *software* tersebut terdapat empat item utama, yakni *level*, *auxiliary*, *constant* dan *flow/rate*.

III. METODOLOGI

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa penjadwalan perawatan komponen sistem penunjang *diesel generator*, khususnya sistem bahan bakar dan pelumasan. Penyusunan jadwal perawatan tersebut akan sangat mempertimbangkan biaya total operasi. Untuk mencapai tujuan tersebut, akan dilakukan uji distribusi terhadap data kegagalan komponen sistem penunjang *diesel generator* CC agar diperoleh distribusi yang paling mewakili.

Dari uji distribusi juga diperoleh parameter-parameter yang akan berguna untuk menghitung persamaan keandalan. Kemudian model keandalan, ketersediaan dan biaya total operasi dibuat dengan menggunakan metode dinamika sistem. Hasil simulasi pemodelan tersebut berupa beberapa keluaran, antara lain *running cost* (C_r), *maintenance cost* (C_m), *downtime cost* (C_d), *total cost* (C_T), dan *availability*. Kemudian setelah seluruh keluaran diperoleh, analisa pemilihan penjadwalan perawatan komponen sistem penunjang *diesel generator* CC dapat dilakukan.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Uji Distribusi

Sebelum data kegagalan diuji distribusi, terlebih dahulu dilakukan *scanning data* atau pemilahan data menggunakan bantuan *software* Minitab 16. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dan kemudian menghilangkan data yang menyimpang (*outlier data*) yang berpotensi merusak hasil uji distribusi nantinya. Tabel 4.1 dan 4.2 berturut adalah hasil uji distribusi data kegagalan komponen sistem bahan bakar dan pelumasan.

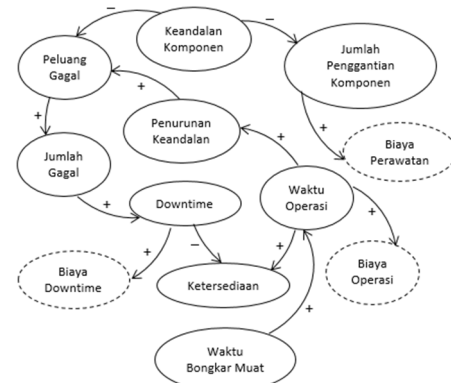
Tabel 4.1 Hasil Uji Distribusi Sistem Bahan Bakar

| NO. | KOMPONEN | CC1 | CC2 | CC3 |
|-----|-------------|---|---|--|
| 1 | Fuel Pump | Eksponensial $\lambda = 0.0000333797$ | Eksponensial $\lambda = 0.0000333797$ | Eksponensial $\lambda = 0.0000333797$ |
| 2 | Separator | Eksponensial $\lambda = 0.00048845$ | Eksponensial $\lambda = 0.00048845$ | Eksponensial $\lambda = 0.00048845$ |
| 3 | Fuel Filter | Weibull 3 Parameter $\alpha = 8.1549$ $\beta = 184.5717$ $\gamma = 78.733$ | Normal $\mu = 260.625$ $\sigma = 26.3717$ | Normal $\mu = 271.9979$ $\sigma = 31.1879$ |
| 4 | PT Pump | Eksponensial $\lambda = 0.000070266$ | Eksponensial $\lambda = 0.000070266$ | Eksponensial $\lambda = 0.000070266$ |
| 5 | Injector | Eksponensial $\lambda = 0.000158025$ | Eksponensial $\lambda = 0.000158025$ | Eksponensial $\lambda = 0.000158025$ |

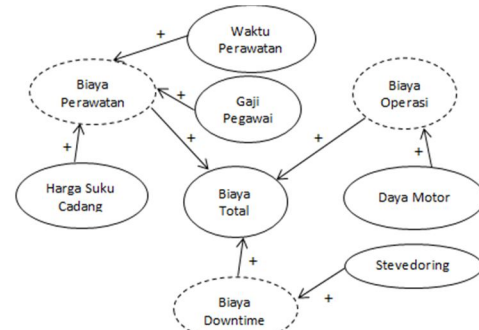
Tabel 4.2 Hasil Uji Distribusi Sistem Pelumasan

| NO. | KOMPONEN | CC1 | CC2 | CC3 |
|-----|-------------------|---|---|--|
| 1 | Oil Pump | Eksponensial $\lambda = 0.000050282$ | Eksponensial $\lambda = 0.000050282$ | Eksponensial $\lambda = 0.000050282$ |
| 2 | Oil Filter | Weibull 3 Parameter $\alpha = 8.1549$ $\beta = 184.5717$ $\gamma = 78.733$ | Normal $\mu = 260.625$ $\sigma = 26.3717$ | Normal $\mu = 271.9979$ $\sigma = 31.1879$ |
| 3 | Bypass Oil Filter | Weibull 3 Parameter $\alpha = 8.1549$ $\beta = 184.5717$ $\gamma = 78.734$ | Normal $\mu = 260.625$ $\sigma = 26.3718$ | Normal $\mu = 271.9979$ $\sigma = 31.1880$ |

B. Pembuatan Causal Diagram



Gambar 4.1 Gambaran Umum Operasional Sistem



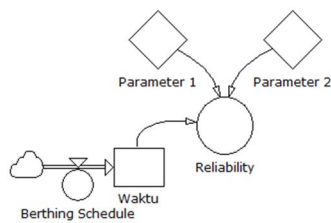
Gambar 4.2 Gambaran Umum Komposisi Biaya

Gambar 4.1 menjelaskan penurunan nilai keandalan suatu aset akan meningkatkan jumlah penggantian komponen sehingga biaya perawatan menjadi naik juga. Penurunan keandalan diakibatkan oleh tingginya waktu operasi akibat padatnya jadwal bongkar muat dari CC. Penurunan keandalan juga akan diiringi oleh naiknya peluang kegagalan. Naiknya peluang kegagalan pasti akan menambah jumlah kegagalan, sehingga *downtime* juga meningkat yang hal ini sangat dihindari karena akan menurunkan ketersediaan.

Sedangkan Gambar 4.2 menjelaskan komponen-komponen dari biaya total, yakni biaya *downtime*, biaya operasi dan biaya perawatan. Kemudian pada gambar tersebut dijelaskan lagi faktor-faktor apa saja yang akan meningkatkan nilai dari ketiga komponen biaya tersebut. Seperti biaya operasi akan sangat tergantung pada besarnya daya motor, untuk kasus motor sebuah pompa. Kemudian biaya perawatan juga akan sangat bergantung pada besarnya gaji pegawai dan berapa lama sebuah komponen dirawat.

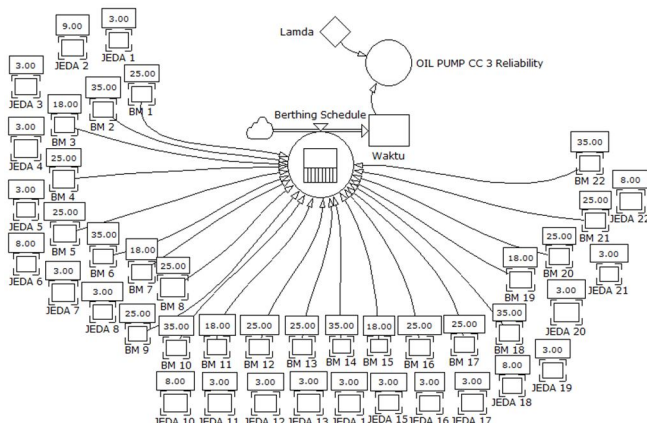
C. Pemodelan Keandalan Komponen

Pemodelan keandalan dibuat untuk mengetahui penurunan nilai keandalan terhadap waktu operasi. Pada Gambar 4.3, Persamaan keandalan akan dimasukkan pada *auxiliary* “Reliability” sesuai dengan distribusinya. Waktu operasi dalam hal ini merupakan waktu operasional CC yang didapatkan dari jadwal kedatangan kapal yang akan melaksanakan kegiatan bongkar muat (*Berthing Schedule*).



Gambar 4.3 Model Keandalan

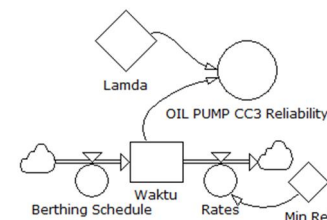
Terdapat dua jadwal kedatangan kapal yang berbeda berdasarkan nomor dan letak CC. CC nomor 1 dan 2 di sisi selatan dan CC nomor 3 di sisi utara. Dua CC di sisi selatan digunakan untuk melayani kapal petikemas yang panjangnya lebih dari atau sama dengan 120 meter dan berkapasitas lebih dari atau sama dengan 700 box. Sedangkan satu CC di sisi utara digunakan untuk melayani kapal petikemas yang panjangnya kurang dari 120 meter dan berkapasitas kurang dari 700 box.



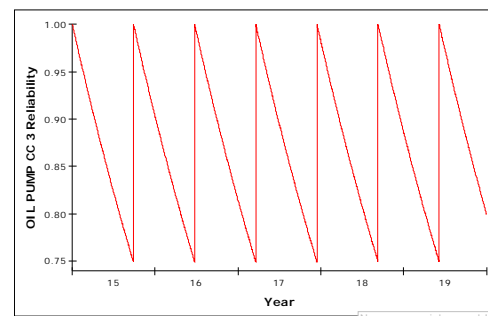
Gambar 4.4 Model Keandalan dengan Jadwal Operasional CC Dermaga Sisi Utara

Model *berthing schedule* pada Gambar 4.4 dibuat berdasarkan data jadwal kedatangan kapal yang didapat. *Level* “BM 1”, “BM 2”, dan seterusnya menunjukkan lama bongkar muat dalam jam. Lama bongkar muat ini yang akan mengisi waktu operasi komponen. Sedangkan *level* “JEDA 1”, “JEDA 2”, dan seterusnya menunjukkan lama waktu antar bongkar muat yang nantinya digunakan untuk melakukan kegiatan perawatan jika nilai keandalan sudah turun hingga mencapai nilai indeks keandalan minimum.

Kemudian untuk mengatur waktu melakukan perawatan maka dibuat model indeks keandalan minimum yang pada Gambar 4.5 ditunjukkan oleh *constant* “Min Rel”. Jadi ketika penurunan nilai keandalan telah mencapai nilai indeks keandalan minimum, maka nilai keandalan akan kembali bernilai 1 (satu). Hal ini dikarenakan komponen yang telah dirawat diasumsikan kembali pada kondisi baru (*as good as new*) seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.6 yang nilai indeks keandalan minimumnya diatur sebesar 0.75.



Gambar 4.5 Model Keandalan dengan Indeks Keandalan Minimum



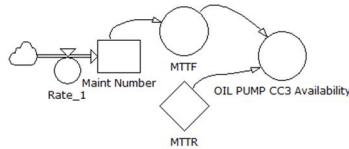
Gambar 4.6 Grafik Keandalan dengan Indeks Keandalan Minimum 0.75

D. Pemodelan Ketersediaan Komponen

Tabel 4.1 Rata-Rata Lama Perawatan Komponen

| System | Components | MTTR (hours) |
|--------|-------------------|--------------|
| FO | Fuel Pump | 18 |
| | Separator | 3 |
| | Fuel Filter | 1 |
| | PT Pump | 6 |
| | Injector | 8 |
| LO | Oil Pump | 8 |
| | Oil Filter | 1 |
| | Bypass Oil Filter | 1 |

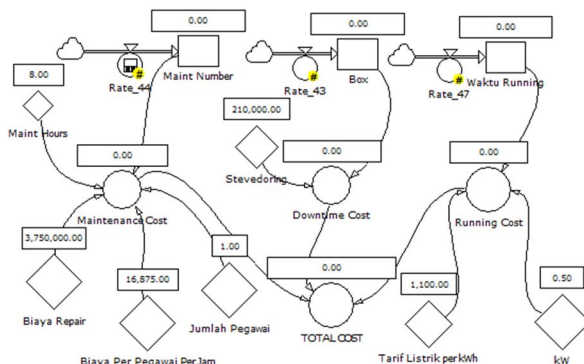
Hasil dari simulasi model keandalan yang sudah dilengkapi dengan nilai indeks keandalan minimum akan menghasilkan waktu operasi diantara kegagalan atau diantara proses perawatan atau sering disebut dengan TTF (*Time To Failure*). Dari beberapa TTF yang diperoleh akan dihitung rata-ratanya yang disebut juga MTTF (*Mean Time To Failure*). Menghitung nilai ketersediaan dibutuhkan dua nilai, yakni nilai MTTF dan MTTR (*Mean Time To Repair*). Tabel 4.1 menunjukkan MTTR atau rata-rata waktu yang digunakan untuk perawatan komponen atau disebut juga *Maintenance Hours* [10][11].



Gambar 4.7 Model Ketersediaan Komponen

Jika dua nilai (MTTF dan MTTR) sudah dapat dimodelkan, maka ketersediaan (*availability*) juga sudah dapat dimodelkan dan diketahui nilainya. Gambar 4.7 menjelaskan bahwa *Level* “Maint Number” adalah jumlah perawatan yang dilakukan dan berfungsi sebagai pembagi pada penjumlahan TTF di dalam *auxiliary* “MTTF”. Kemudian data nilai MTTR yang ada pada Tabel 4.2 dimasukkan pada *constant* “MTTR”. Terakhir, pada *auxiliary* “OIL PUMP CC3 Availability” dimasukkan persamaan ketersediaan komponen (1).

E. Pemodelan Biaya Total Operasi Komponen



Gambar 4.8 Model Biaya Total Operasi

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa *maintenance cost* dihitung berdasarkan perkalian antara jumlah kegiatan perawatan, jumlah pegawai, ongkos per pegawai per jam dan lama perawatan (Tabel 4.1) serta ditambah lagi dengan perkalian antara jumlah kegiatan perawatan dengan biaya *repair*, yakni biaya untuk membeli bagian-bagian (*part*) dari pompa yang akan diganti. Kemudian *downtime cost* dihitung berdasarkan perkalian antara tarif *stevedoring* per box dengan jumlah box yang seharusnya bisa diangkut oleh CC jika saja lama waktu perawatan tidak melebihi waktu jeda operasional CC. Kemudian *running cost* dihitung berdasarkan perkalian antara tarif listrik per kWh, besarnya daya motor dan lama pompa dioperasikan dalam jam.

F. Penjadwalan Perawatan

Penjadwalan perawatan selama 5 tahun ke depan untuk setiap komponen dalam sistem bahan bakar dan pelumasan akan dimodelkan dan simulasi dijalankan selama 5 tahun (2015 – 2020). Nilai pada indeks keandalan minimum (*minimum reliability index*) divariasikan mulai dari 0.99 sampai 0.5 dengan interval 0.01 sehingga nanti akan ada 49 data. Dari masing-masing 49 data tersebut akan didapatkan nilai *running cost* (C_r), *maintenance cost* (C_m), *downtime cost* (C_d), *total cost* (C_T), dan *availability*.

Pemilihan data yang paling optimal adalah berdasarkan nilai *total cost* yang terendah dan memiliki nilai *availability* yang tertinggi. Namun jika terjadi kondisi dimana nilai *total cost* yang terendah dan *availability* yang tertinggi berada di nilai indeks keandalan minimum yang berbeda, maka lebih diutamakan pada data yang memiliki nilai *total cost* terendah.

Kemudian jika terdapat kesamaan nilai *total cost* terendah dan *availability* tertinggi di dua data atau lebih, maka yang diambil adalah nilai indeks keandalan minimum yang terkecil.

Tabel 4.2 hingga 4.6 adalah hasil jadwal perawatan yang telah disusun secara detail. Kemudian Tabel 4.7 adalah hasil dari seluruh simulasi yang dijalankan dan telah dilakukan analisa penjadwalan.

Tabel 4.2 Jadwal Perawatan Separator

| CC 1 dan 2 | | CC 3 | |
|-------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Tanggal | Pukul | Tanggal | Pukul |
| 06 Maret 2015 | 17.00 - 20.00 | 09 Maret 2015 | 05.00 - 08.00 |
| 09 Mei 2015 | 23.00 - 02.00 | 15 Mei 2015 | 21.00 - 24.00 |
| 13 Juli 2015 | 10.00 - 13.00 | 21 Juli 2015 | 06.00 - 09.00 |
| 16 September 2015 | 00.00 - 03.00 | 26 September 2015 | 12.00 - 15.00 |
| 19 November 2015 | 06.00 - 09.00 | 03 Desember 2015 | 04.00 - 07.00 |
| 21 Januari 2016 | 15.00 - 18.00 | 07 Februari 2016 | 13.00 - 16.00 |
| 26 Maret 2016 | 05.00 - 08.00 | 14 April 2016 | 19.00 - 22.00 |
| 29 Mei 2016 | 11.00 - 14.00 | 20 Juni 2016 | 14.00 - 17.00 |
| 31 Juli 2016 | 20.00 - 23.00 | 26 Agustus 2016 | 20.00 - 23.00 |
| 04 Oktober 2016 | 10.00 - 13.00 | 02 November 2016 | 02.00 - 05.00 |
| 07 Desember 2016 | 16.00 - 19.00 | 07 Januari 2017 | 21.00 - 24.00 |
| 09 Februari 2017 | 01.00 - 04.00 | 16 Maret 2017 | 03.00 - 06.00 |
| 14 April 2017 | 15.00 - 18.00 | 21 Mei 2017 | 23.00 - 02.00 |
| 17 Juni 2017 | 21.00 - 24.00 | 29 Juli 2017 | 08.00 - 11.00 |
| 20 Agustus 2017 | 06.00 - 09.00 | 04 Oktober 2017 | 14.00 - 17.00 |
| 23 Oktober 2017 | 20.00 - 23.00 | 10 Desember 2017 | 09.00 - 12.00 |
| 27 Desember 2017 | 02.00 - 05.00 | 15 Februari 2018 | 15.00 - 18.00 |
| 28 Februari 2018 | 11.00 - 14.00 | 23 April 2018 | 11.00 - 14.00 |
| 04 Mei 2018 | 01.00 - 04.00 | 30 Juni 2018 | 20.00 - 23.00 |
| 07 Juli 2018 | 07.00 - 10.00 | 06 September 2018 | 02.00 - 05.00 |
| 08 September 2018 | 16.00 - 19.00 | 11 November 2018 | 21.00 - 24.00 |
| 12 November 2018 | 06.00 - 09.00 | 18 Januari 2019 | 03.00 - 06.00 |
| 15 Januari 2019 | 12.00 - 15.00 | 25 Maret 2019 | 23.00 - 02.00 |
| 19 Maret 2019 | 21.00 - 24.00 | 02 Juni 2019 | 08.00 - 11.00 |
| 23 Mei 2019 | 11.00 - 14.00 | 08 Agustus 2019 | 14.00 - 17.00 |
| 26 Juli 2019 | 17.00 - 20.00 | 14 Oktober 2019 | 09.00 - 12.00 |
| 28 September 2019 | 02.00 - 05.00 | 20 Desember 2019 | 15.00 - 18.00 |
| 01 Desember 2019 | 16.00 - 19.00 | | |

Tabel 4.3 Jadwal Perawatan PT Pump

| CC 1 dan 2 | | CC 3 | |
|------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Tanggal | Pukul | Tanggal | Pukul |
| 12 Februari 2016 | 00.00 - 06.00 | 28 November 2015 | 06.00 - 12.00 |
| 24 Maret 2017 | 04.00 - 10.00 | 24 Oktober 2016 | 18.00 - 24.00 |
| 04 Mei 2018 | 07.00 - 13.00 | 21 September 2017 | 06.00 - 12.00 |
| 14 Juni 2019 | 10.00 - 16.00 | 18 Agustus 2018 | 18.00 - 24.00 |
| | | 16 Juli 2019 | 06.00 - 12.00 |

Tabel 4.4 Jadwal Perawatan Injector

| CC 1 dan 2 | | CC 3 | |
|------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Tanggal | Pukul | Tanggal | Pukul |
| 25 Juni 2015 | 15.00 - 23.00 | 17 Juni 2015 | 22.00 - 06.00 |
| 19 Desember 2015 | 07.00 - 15.00 | 03 Desember 2015 | 04.00 - 12.00 |
| 11 Juni 2016 | 03.00 - 11.00 | 19 Mei 2016 | 10.00 - 18.00 |
| 04 Desember 2016 | 20.00 - 04.00 | 03 November 2016 | 16.00 - 24.00 |
| 30 Mei 2017 | 17.00 - 01.00 | 20 April 2017 | 22.00 - 06.00 |
| 22 November 2017 | 15.00 - 23.00 | 06 Oktober 2017 | 04.00 - 12.00 |
| 18 Mei 2018 | 07.00 - 15.00 | 23 Maret 2018 | 10.00 - 18.00 |
| 09 November 2018 | 00.00 - 08.00 | 07 September 2018 | 16.00 - 24.00 |
| 04 Mei 2019 | 15.00 - 23.00 | 23 Februari 2019 | 22.00 - 06.00 |
| 27 Oktober 2019 | 10.00 - 18.00 | 10 Agustus 2019 | 04.00 - 12.00 |

Tabel 4.5 Jadwal Perawatan Fuel Pump

| CC 1 dan 2 | | CC 3 | |
|--------------|---------------|-----------------|---------------|
| Tanggal | Pukul | Tanggal | Pukul |
| 17 Juni 2018 | 05.00 - 08.00 | 26 Januari 2019 | 08.00 - 11.00 |

Tabel 4.6 Jadwal Perawatan Oil Pump

| CC 1 dan 2 | | CC 3 | |
|------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Tanggal | Pukul | Tanggal | Pukul |
| 22 Juli 2016 | 07.00 - 15.00 | 03 September 2016 | 14.00 - 22.00 |
| 08 Februari 2018 | 15.00 - 23.00 | 08 Mei 2018 | 12.00 - 20.00 |
| 30 Agustus 2019 | 12.00 - 20.00 | | |

Tabel 4.7 Ringkasan Hasil Simulasi Penjadwalan Perawatan Komponen Sistem Bahan Bakar dan Pelumasan Selama 5 Tahun

| CC | System | Components | Interval Between Maint. (hrs) | Interval Between Repl. (hrs) | Min Rel. | Av. | No. of Maint. | No. of Repl. | Total Cost (Rp) | |
|-------------|-------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------|---------|------------------|-----------------|--------------------|------------|
| 1 | FO | Fuel Pump | 4,578 | - | 0.9 | 0.99608 | 1 | - | 30,457,130 | |
| | | Separator | 1,453 | - | 0.5 | 0.99794 | 28 | - | 19,712,700 | |
| | | Fuel Filter | - | 256 | 0.62 | - | - | 159 | 34,546,725 | |
| | | PT Pump | 10,169 | - | 0.53 | 0.99941 | 4 | - | 111,891,586 | |
| | | Injector | 4,065 | - | 0.54 | 0.99804 | 10 | - | 165,300,000 | |
| | LO | Oil Pump | 13,559 | - | 0.53 | 0.99941 | 3 | - | 75,415,750 | |
| | | Oil Filter | - | 256 | 0.62 | - | - | 159 | 34,546,725 | |
| | | Bypass Oil Filter | - | 256 | 0.62 | - | - | 159 | 34,546,725 | |
| | 2 | FO | Fuel Pump | 4,578 | - | 0.9 | 0.99608 | 1 | - | 30,457,130 |
| | | | Separator | 1,453 | - | 0.5 | 0.99794 | 28 | - | 19,712,700 |
| Fuel Filter | | | - | 256 | 0.7 | - | - | 159 | 34,546,725 | |
| PT Pump | | | 10,169 | - | 0.53 | 0.99941 | 4 | - | 111,891,586 | |
| Injector | | | 4,065 | - | 0.54 | 0.99804 | 10 | - | 165,300,000 | |
| LO | | Oil Pump | 13,559 | - | 0.53 | 0.99941 | 3 | - | 75,415,750 | |
| | | Oil Filter | - | 256 | 0.7 | - | - | 159 | 34,546,725 | |
| | | Bypass Oil Filter | - | 256 | 0.7 | - | - | 159 | 34,546,725 | |
| 3 | | FO | Fuel Pump | 4,296 | - | 0.89 | 0.99583 | 1 | - | 30,459,110 |
| | | | Separator | 1,439 | - | 0.5 | 0.99792 | 27 | - | 19,008,675 |
| | Fuel Filter | | - | 256 | 0.81 | - | - | 152 | 33,894,900 | |
| | PT Pump | | 7,774 | - | 0.61 | 0.99923 | 5 | - | 75,946,400 | |
| | Injector | | 3,887 | - | 0.57 | 0.99795 | 10 | - | 2,130,000 | |
| | LO | Oil Pump | 19,435 | - | 0.52 | 0.99959 | 2 | - | 31,849,000 | |
| | | Oil Filter | - | 256 | 0.81 | - | - | 152 | 33,894,900 | |
| | | Bypass Oil Filter | - | 256 | 0.81 | - | - | 152 | 33,894,900 | |

V. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Jadwal perawatan yang tepat untuk diterapkan pada sistem penunjang *Diesel Generator* CC selama lima tahun (2015 – 2020) untuk komponen *fuel pump* adalah setiap 4578 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 4296 jam untuk CC 3, komponen *separator* adalah setiap 1453 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 1439 jam untuk CC 3, komponen *PT Pump* adalah setiap 10169 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 7774 jam untuk CC 3, komponen *injector* adalah setiap 4065 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 3887 jam untuk CC 3, komponen *oil pump* adalah setiap 13559 jam untuk CC 1 dan 2 serta setiap 19435 jam untuk CC 3. Untuk komponen *fuel filter*, *oil filter*, dan *bypass oil filter* yang termasuk *non-repairable component* akan dilakukan penggantian setiap 256 jam untuk CC 1, CC 2, dan CC 3.
- Dari penjadwalan yang dibuat, penelitian ini juga telah mendapatkan biaya total operasi yang paling optimal selama lima tahun (2015 – 2020), untuk komponen *fuel pump* adalah Rp 30,457,130.00 untuk CC 1 dan 2 serta Rp 30,459,110.00 untuk CC 3, komponen *separator* adalah Rp 19,712,700.00 untuk CC 1 dan 2 serta Rp 19,008,675.00 untuk CC 3, komponen *PT Pump* adalah Rp 111,891,586.00 untuk CC 1 dan 2 serta Rp 75,946,400.00 untuk CC 3, komponen *injector* adalah Rp 165,300,000.00 untuk CC 1 dan 2 serta Rp 2,130,000.00 untuk CC 3, komponen *oil pump* adalah Rp 75,415,750.00 untuk CC 1 dan 2 serta Rp 31,849,000.00 untuk CC 3. Untuk biaya penggantian selama lima tahun pada komponen *fuel filter*, *oil filter*, dan *bypass oil filter* adalah Rp 34,546,725.00 untuk CC 1, Rp 34,546,725.00 untuk CC 2 dan Rp 33,894,900.00 untuk CC 3.

DAFTAR PUSTAKA

- Priyanta, Dwi. 2011. **Maintenance Management**

Course Notes. Surabaya : Department of Marine Engineering - ITS.

- Billinton, R., Allan, R.N. 1992. **Reliability Evaluation of Engineering System Concepts and Techniques.** New York : Plenum Press.
- Artana, K.B., Dinariyana, A.A.B. 2013. **Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya.** Surabaya : Guna Widya.
- Kumar, U.D., Crocker, John., Chitra, T., Saranga, Haritha. 2006. **Reliability and Six Sigma.** New York : Springer.
- Andam, R.A., Sudarno., Suparti. 2013. “Kajian Availibilitas pada Sistem Paralel”. **Prosiding SNS (Seminar Nasional Statistika).** SNS 2013.
- Bouloiz, H., Garbolino, E., Tkouat, M., Guarnieri, F. 2013. “A System Dynamics Model for Behavioral Analysis of Safety Conditions in a Chemical Storage Unit”. **Journal of ELSEVIER.** Safety Science 58 (2013) 32-40.
- Forrester, J.W. 1961. **Industrial Dynamics.** Massachusetts : MIT Press.
- Latif, M. Z. 2013. **Penjadwalan Perawatan Mesin Pendingin dengan Menggunakan Pemodelan Dinamika Sistem.** Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- Handani, D.W., Uchida, M. 2014. “Modeling Optimum Operation of Ship Machinery by Using System Dynamics”. **Journal of the JIME (Japan Institute of Marine Engineering).** 132-141.
- Sintef Industrial Management. 2002. **Offshore Reliability Data Handbook (OREDA).** Trondheim : OREDA Participants.
- Butler, Don. 2000. **Guide to Ship Repair Estimates (In Man-Hours).** Oxford : Reed Educational and Proffesional Publishing Ltd.